Edgar J Cyriax

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Ueber

die Wirkung engbegrenzter Nervencompression.

Erste Mittheilung.

Von

Dr. V. Ducceschi,

Assistent am physiologischen Institut zu Rom.

(Mit 10 Textfiguren.)

Bonn, 1900.

Separat-Abdruck aus dem Archiv für die ges. Physiologie Bd. 83.

Verlag von Emil Strauss.

22501240975

WELLCOME INSTITUTE
LIBRARY
Coll. wellMOmec
Coll. pam
No. WL 100
1900
D82.u

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Ueber die Wirkung engbegrenzter Nervencompression.

Erste Mittheilung.

Von

Dr. **V. Ducceschi,**
Assistent am physiologischen Institut zu Rom.

(Mit 10 Textfiguren.)

Die Aufmerksamkeit der Forscher, welche sich bisher mit der Wirkung mechanischer Einflüsse auf die Nerven beschäftigt haben, hat sich hauptsächlich auf die motorischen Reize bezogen, welche mechanisch ausgelöst wurden. Weniger ist die Wirkung mechanischer Einflüsse auf die Leitungsfähigkeit der Nerven studirt worden. Unter diesen mechanischen Eingriffen ist es vor Allem die Compression, die ein besonderes Interesse mit Rücksicht auf die Leitungsfähigkeit der Nervenfaser verdient. Diese Beziehungen zwischen Compression und Leitungsfähigkeit sind es, die ich in dem folgenden Beitrag untersuchen werde.

Die Beeinflussung der nervösen Leitungsfähigkeit vermittelst mechanischer Eingriffe könnte vielleicht als ein etwas sehr rohes Verfahren erscheinen in Hinblick auf die Plumpheit der uns zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden und im Vergleich mit der Geringfügigkeit des in dem leitenden Element nachweisbaren Energie-Umsatzes. Aus solchen Erwägungen heraus haben vielleicht die Physiologen das Studium der Erregbarkeit des Nerven dem seiner Leitungsfähigkeit vorgezogen und dabei eine so grosse Summe von Thatsachen ermittelt, dass diese Lehre zu einem der ausgedehntesten Capitel der Physiologie angewachsen ist.

Die normale Function eines Nerven besteht ja aber nicht darin, während seines Verlaufes Impulse zu empfangen, sondern darin, Impulse fortzuleiten, die seinen Primitivelementen in dem physiologi-

schen Endorgan zugehen, — also nicht in dem, was die Physiologen Erregbarkeit nennen, sondern in der sogenannten Erregungsleitung.

In Hinblick auf die geringe Anzahl der positiven Kenntnisse, die wir über die Leitungsfähigkeit besitzen, fühlt man das Bedürfniss, das Studium derselben aufzunehmen, um so mehr als auch die Hülfsmittel, deren wir uns zu diesen Untersuchungen bedienen wollen, im Vergleich zu den bisher verwendeten ungleich vollkommener erscheinen.

Sehen wir zunächst von der Arbeit von Grützner (4) und seines Schülers Efron (1) ab, so wurden Untersuchungen über die Wirkung der Compression eines Nerven bis jetzt hauptsächlich nur in Rücksicht auf klinische Zwecke ausgeführt oder aber mit der Absicht, zu bestimmen, wie schwer die Gewichte sein mussten, um den Nerv der Reizleitung unzugänglich zu machen. Am meisten beschäftigte man sich mit der Frage, ob die motorischen oder die sensiblen Fasern grössere Widerstandskraft besitzen. Jedoch einige Thatsachen, die ebenfalls in das Bereich dieser Untersuchungen gehören, zogen nicht genügend die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich, obwohl sie elementarer Natur sind. Beispielshalber sei an dieser Stelle nur erwähnt: Durch Compression kann man die Leitung für einen wirksamen Reiz zeitweise unterbrechen, und mit dem Aufhören der Compression erlangt der Nerv die Fähigkeit, eine Erregung fortzuleiten, von Neuem. Auch der Umstand, dass die Compression es vielleicht ermöglicht, verschiedenartige Fasern functionell zu trennen, hat nicht zu weiteren Untersuchungen Anlass gegeben. Die Möglichkeit, mit Hülfe der Compression Widerstände in die Bahn einer Nervenfaser einzuschalten und die Resultate dann zum Ausbau unserer Kenntnisse über quantitative Verhältnisse der in den Leitungsbahnen laufenden Impulse auszunützen, zog ebenso wenig die Aufmerksamkeit der betreffenden Autoren auf sich.

Auf alle diese Thatsachen werden wir in Kürze zurückkommen, wenn wir die Resultate fremder und eigener Untersuchungen darlegen. Die allerdings wenig zahlreiche Literatur beschränkt sich auf die Namen von: Fontana (3), Weir-Mitchell (8), Lüderitz (7), Grützner (4), Zederbaum (9), Efron (1).

Methode.

Die Methode wurde mir von Herrn Prof. J. Rich. Ewald angegeben. Das neue Verfahren bietet den doppelten Vortheil, die

gedrückte Strecke des Nerven thunlichst einschränken und dabei die Compression sehr fein abstufen zu können. Während Zederbaum und Efron den Nerven zwischen zwei ebenen Flächen in grösserer oder geringerer Ausdehnung comprimirten, hatte Lüderitz die Unterbindung angewendet, und zwar in einer Weise, die keine genauere Berechnung der Länge der Druckstelle gestattet, da er den Ischiadicus des Kaninchens mit dem umgebenden Gewebe zusammenschnürte und manchmal mit der Ligatur auch den Knochen fasste.

Meine Versuche wurden im Sommersemester 1900 an Fröschen ausgeführt. Das Nervmuskelpräparat wurde im Grützner'schen Myographion[1]) aufgehängt. Die Curven sind isotonisch; die gesammte Hebellänge betrug 138 mm, der kurze Hebelarm 27 mm. Als Schreibfläche diente die berusste Trommel des Baltzer'schen Kymographions. Der Nerv ruhte auf einer Glasplatte auf, welcher an einer Stelle, die dem unteren Nerventheil entsprach, der Apparat zur Compression eingefügt war. Diese höchst einfache Vorrichtung (s. Fig. 1) bestand aus einem Metallplättchen (*a*) mit zwei Löchern von je 0,29 mm Durchmesser und von einem gegenseitigen Abstand der benachbarten Ränder von 0,34 mm. Durch jedes Loch wurde ein Ende eines feinen, die Löcher ganz ausfüllenden Seidenfadens gezogen, so dass oberhalb des Lagers für den Nerven eine Fadenwende entstand. Unter diese Wende wurde der Nerv gelegt, derart, dass sie bei einer Anspannung der Fäden nach unten sich dem Nerven anlegte und einen gleichmässigen Druck auf ihn ausübte. An den unteren Enden des Seidenfadens war ein Schälchen (*b*) befestigt, das bestimmt war, Gewichte aufzunehmen; mittelst einer Schraubenvorrichtung (*c*) konnte das Schälchen langsam gehoben und gesenkt werden.

Der Apparat gestattet sonach, den Nerven an einer sehr begrenzten Strecke in allseitig möglichst gleichmässiger Weise zu comprimiren, ohne Knickung oder Abplattung, wie sie bei Anwendung von comprimirenden Flächen zu Stande kommen; ferner gestattet er, die Belastung nach und nach wirken zu lassen und so die Folgen mechanischer Reizungen auszuschalten, welche man bei plötzlicher Compression erhält. Endlich ist eine sehr feine Abstufung und Bestimmung der Stärke der Compression im positiven und negativen Sinne auf diese Weise möglich.

---

1) Ein neues Myographion. Dieses Archiv Bd. 41 S. 281.

Auf der Glasplatte, welche den Nerven trug, befanden sich zwei Paar Platinelektroden, welche durch unpolarisirbare Elektroden (mit Baumwollfäden) ersetzt werden konnten. Das eine Paar lag natürlich oberhalb der Compressionsstelle; das andere Paar lag zwischen dem

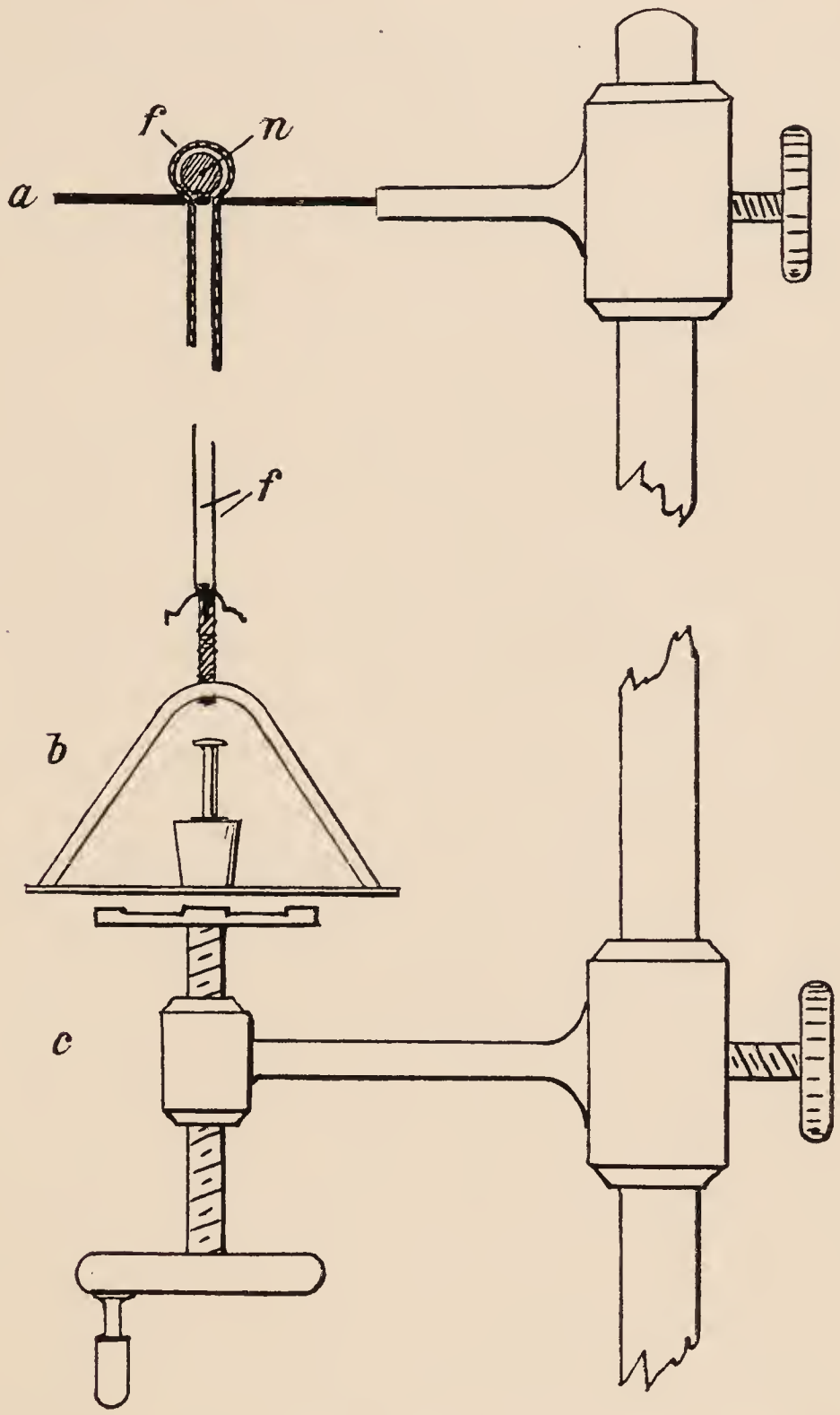

Fig. 1. Der obere Theil dieser Figur ist etwa sechs Mal vergrössert. *a* die Metallplatte, *f* der Seidenfaden, *n* der Nerv.

Orte der Compression und dem Eintritt des Nerven in den Gastrocnemius; durch seine elektrische Druckströmung erhielt man die zur Controle nothwendigen Daten über die Erregbarkeit des Nerven unterhalb der Druckstelle, als Vergleichsgrösse für die oberhalb des genannten Punktes erhobenen Befunde.

Untersuchungen.

Die ersten Untersuchungen wurden zu dem Zweck angestellt, die Thatsachen direct zu studiren, welche sich in Bezug auf Unterbrechung und Wiederherstellung der Leitung in den Nerven bei der Anwendung und beim Aufhören des Druckes zeigen.

Ich nahm eine Reihe von Versuchen vor, indem ich das Muskelnervpräparat durch Oeffnungsinductionsschläge reizte, die 5 Secunden Zeitintervall hatten. Zunächst wurden die Zuckungshöhen ohne Comprimirung des Nerven aufgeschrieben, dann liess ich den Druck einwirken. Die einfachen Schläge des Inductionsstromes, die von einem Dubois'schen Schlitten ausgingen (ich bediente mich gewöhnlich eines Daniell'schen Elements), gingen durch eine Bowditch'sche Uhr und einen von Prof. J. Rich. Ewald construirten Apparat, wie er im hiesigen Laboratorium verwendet wird, um nach Belieben den Oeffnungs- oder Schliessungsschlag abzublenden. Die Elektroden lagen immer in einer Entfernung von nicht weniger als 1 cm von dem Punkte, der dem Drucke ausgesetzt war. Gleich von vornherein möchte ich eine Bemerkung vorausschicken. Um eine Abschwächung oder völlige Unterdrückung des Effects der durch das Präparat geschickten elektrischen Reize zu erzielen, fand ich Gewichte nöthig, die einem weit geringeren Drucke entsprechen als dem von meinen Vorgängern angewendeten. Als Beispiel führe ich die Zahlen von Zederbaum (9) an, der eine Erhöhung der Erregbarkeit des Muskelnervpräparates eines Frosches durch Gewichte zwischen 75 und 900 g erzielte, sowie eine Abnahme der Function durch Gewichte von mehr als 1000 g. — Efron (1) fand zwar später, dass die Leitung des Nerven durch weit geringeren Druck unterbrochen wird, und schreibt mit Recht die Resultate Zederbaum's Mängeln des Apparates zu. Meine Zahlen aber sind noch weit niedriger als die Efron's, der den Nerv einem Druck von 200 bis 400 g aussetzen konnte, ohne ein endgültiges Aufhören der Function zu erreichen.

Meine Präparate hörten sehr oft schon bei einem Gewicht von 50 g und noch weniger in endgültiger Weise auf, den Reiz zu übertragen; auf jeden Fall durfte ich nie 100 g überschreiten, ohne die Gewissheit zu haben, dass die Function vollständig und endgültig aufhörte. Dieser Unterschied der Resultate ist der Verschiedenheit der Bedingungen zuzuschreiben, unter welchen die oben genannten

Forscher ihre Experimente ausführten. Sowohl Zederbaum als Efron — deren Resultate am meisten zu beachten sind — comprimirten den Nerv zwischen zwei ebenen Flächen, die mehrere Millimeter, zuweilen mehr als 1 cm breit waren; daraus ersieht man, dass das Gewicht sich über eine weit grössere Fläche des Nerven vertheilte als bei meinen Untersuchungen, und dass grössere Gewichte erforderlich waren, um dieselben Wirkungen zu erzielen, die ich mit wenigen Grammen auf einer Nervenstrecke erreichte, die dem Bruchtheil eines Millimeters entsprach. Ueberdies wird, wenn man eine lange Nervenstrecke zwischen zwei ebenen Flächen comprimirt, ein gewisser Theil der von dem Gewicht ausgeübten Kraft durch die Deformation des Nerven verbraucht, dessen bindegewebiges Gerüst der Quetschung einen gewissen Widerstand entgegensetzt.

Die Wirkungen, die ich mit meinem Apparat erreichte, standen in directer Proportion zum Gewicht und zur Zeit, während welcher letzteres in Wirkung war. Ein Gewicht von nur ca. 15 g war oft schon wirksam, und es zeigte sich dann eine stufenweise Abnahme in der Grösse der Contraction, die in wenigen Minuten nicht selten zu einem permanenten Aufhören der Leitung führte. Die Sommerfrösche bieten kein günstiges Material für das Studium der langen Einwirkung kleiner Gewichte; die von letzteren herbeigeführten Veränderungen und die durch die eigene geringe Widerstandsfähigkeit verursachte Erschöpfung des Präparates wirkten zusammen und trübten das Urtheil; daher muss ich mir vorbehalten, diese und andere Untersuchungen, wie das Studium des Einflusses der Compression mehr oder weniger ausgedehnter Nervenstrecken und des an zwei von einander entfernten Punkten ausgeübten Druckes, an Winterfröschen zu wiederholen.

Was die Einwirkung grösserer Gewichte betrifft, so genügen schon 20—25 g, um eine sehr schnelle und auffällige Wirkung hervorzubringen, welche leicht mit der Methode der rhythmischen Reizung in der oben geschilderten Weise nachzuweisen ist. Wenn man das Gewicht langsam einwirken lässt, so bemerkt man im Allgemeinen keine Erregungserscheinung, auch nicht in dem Augenblicke, wo das ganze Gewicht auf dem Nerven lastet; selten tritt indessen in diesem Moment eine vereinzelte spontane Contraction auf.

Bei einem Gewicht von 15 bis 20 g bemerkt man bei elektrischer Reizung, nach einigen Contractionen, die den normalen gleich sind, ein mehr oder weniger schnelles Absinken der Zuckungshöhen, das

man bis zu einem gewissen Grade aufhalten kann — durch Aufheben des Gewichtes —, oder auf welches die Unterbrechung der Leitungsfähigkeit folgt [s. Fig. 2, 3, 4 und 5[1])]; die Unterbrechung ist nicht immer eine vollständige, und oft zeigen sich hier und da

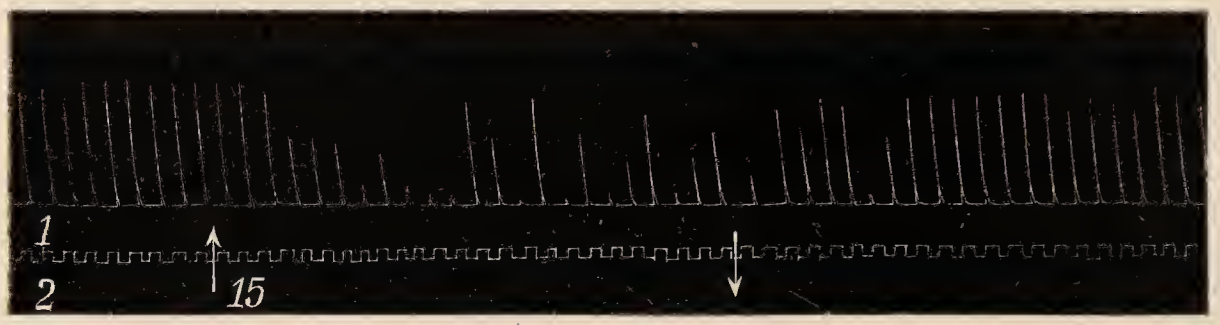

Fig. 2.

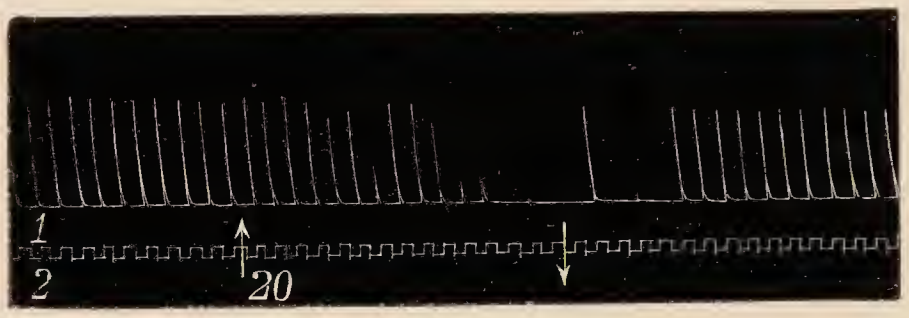

Fig. 3. Fig. 2 und 3 Abschwächung und Unterbrechung der nervösen Leitung durch den Druck. *1* Zuckungen des Froschgastrocnemius nach Reizung des Ischiadicus oberhalb der Druckstelle. *2* Reizmarke in Intervallen von 4 Sec. — ↑ Beginn des Drucks, ↓ Aufhören des Drucks. Die Zahlenangaben bei den Pfeilen geben den Druck in g an. Siehe ausserdem Fig. 5, 6 und 7.

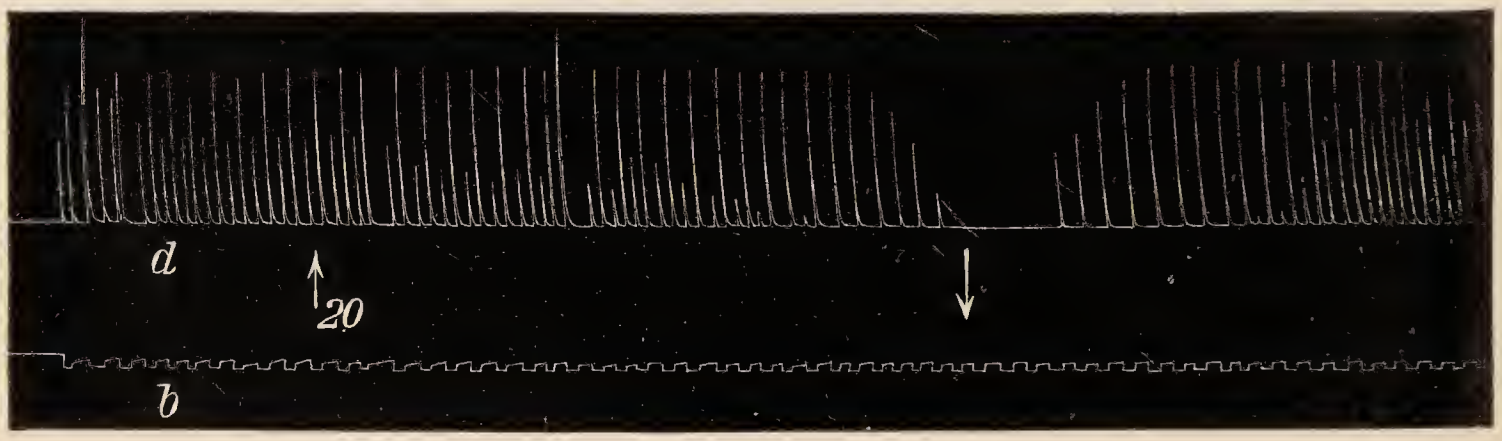

Fig. 4. Nervmuskelpräparat. *a* Zuckung des Gastrocnemius: der Ischiadicus wird am oberen Theil mit galvanischen Strömen (Schliessungs- und Oeffnungsreizung) gereizt. *b* Reizintervall = 4 Sec. ↑ Beginn eines Drucks von 20 g, ↓ Aufhören des Drucks. Aufsteigender Strom. Zuerst erlischt die Schliessungs-, dann die Oeffnungszuckung.

kleine Reactionen. Wenn die Unterbrechung eine gewisse Zeit lang gedauert hat (bei diesen Versuchen überstieg die Dauer eines Experimentes niemals 12 Minuten) und das Gewicht aufgehoben wird, so geht der Reiz sogleich oder nach wenigen Secunden wieder durch

1) Diese Curven sind von links nach rechts zu lesen.

die comprimirte Strecke hindurch; die Contractionen beginnen wieder, anfangs mit geringerer Stärke, um häufig die ursprüngliche Stärke wieder zu erreichen. Bei grösseren Gewichten (25—50 g) ist die Unterbrechung oft eine augenblickliche, und die Leitung wird mit grösserer Langsamkeit wieder hergestellt, nachdem das Gewicht entfernt ist.

Dennoch ist die lange Einwirkung kleiner Gewichte für das Präparat schädlicher als die kurze Zeit dauernde, wenn auch periodisch wiederholte Einwirkung grösserer Gewichte. Dabei sind die individuellen Unterschiede nicht unbedeutend, nicht nur in Hinsicht auf die Widerstandsfähigkeit gegen Gewichte von verschiedener Grösse, sondern auch in Bezug auf die Wiederherstellung der Leitung nach der Entlastung. In einigen Fällen wird das Präparat auch nach nicht sehr langer Einwirkung kleiner Gewichte nicht wieder erregbar oberhalb des comprimirten Punktes.

Erscheinungen gesteigerter Function, wie sie in Folge der Anwendung mittlerer Gewichte fast constant von Zederbaum und — besonders bei Reizung der unteren Partie des Ischiadicus — von Efron beobachtet wurden, habe ich nicht so häufig und dann stets weniger intensiv beobachtet; ich sah nur ausnahmsweise während der rhythmischen Reizung eine grössere Stärke der Contractionen oder eine tonische Erhöhung der Abscisse des Präparats in Folge des Druckes eintreten. Deutlichere Erscheinungen functioneller Erregung werden wir eingehender zu besprechen haben, wenn wir uns mit dem Verlauf der Erregbarkeit während des Druckes beschäftigen, sowie auch bei anderer Gelegenheit. Dass Zederbaum und Efron mit grösserer Constanz und Deutlichkeit Erscheinungen gesteigerter Function erhalten haben, darüber kann man sich nicht wundern. Jene Erscheinungen sind wahrscheinlich dem Umstande zuzuschreiben, dass ein mässiger Grad des Druckes an der comprimirten Stelle einen Zustand grösserer Erregbarkeit hervorruft, so dass der von einem höher gelegenen Theile ausgehende Reiz die latente Erregung an der comprimirten Strecke in Erscheinung treten lässt, und dass mithin eine neue Summe von Impulsen sich mit den hindurchziehenden vereinigt. Wenn man nun aber bedenkt, dass der Theil der Nerven, der von jenen Experimentatoren comprimirt wurde, mehrere Millimeter betrug, dass dagegen in meinem Falle es sich nur um Bruchtheile eines Millimeters handelte, so ist leicht einzusehen, dass diese so kurze Nervenstrecke auch im Zustande erhöhter Erregbar-

keit jene sie durchdringenden Impulse nur sehr wenig beeinflusste. Es ergibt sich als Vortheil meiner Methode, dass sie die Folgen der veränderten Leitungseigenschaften des Nervenquerschnitts besser von denjenigen der localen Erregbarkeitsänderungen an der Compressionsstelle zu sondern gestattet. Nun interessirte mich aber mehr als diese localen Wirkungen das Studium der allgemeinen Wirkungen der Leitungsunterbrechung, da die Erregungsleitung die einzige Function der normalen Nerven ist.

Vermittelst einer weiteren Reihe von Experimenten habe ich den Verlauf der Erregbarkeit der Nerven während des Druckes studirt. Eine Reihe von faradischen Reizen wurde regelmässig in einem Abstand von einigen Secunden der oberen Hälfte des Nerven zugeführt, während der Druck am unteren Theile angriff. Gewöhnlich zeigte sich kurze Zeit nach Einwirkung des Gewichtes, und zwar ziemlich schnell, wenn es 20 g überstieg, ein mehr weniger schnelles Sinken der Erregbarkeit; zuweilen sah man seltene und unbedeutende Erhöhungen der Erregbarkeit, die in jedem Falle von sehr kurzer Dauer waren.

Nimmt man das Gewicht fort, ehe die Einwirkung zu weit vorgeschritten ist, so erhält man ein Aufhören des schädlichen Einflusses und oft eine Wiederherstellung der Function, welche jedoch nie eine vollständige ist.

Die Curve der Erregbarkeitsabnahme in Folge der Einwirkung des Druckes stellt ein Stück einer Parabel dar; sie verläuft anfangs langsam und dann sehr schnell, wenn die Erregbarkeit solche Werthe angenommen hat, dass eine Annäherung der secundären Rolle an die primäre bis auf ca. 100 mm erforderlich wird.

Ich führe als Beispiel ein derartiges Experiment an (Tabelle 1), halte mich jedoch nicht länger dabei auf, da das Thatsächliche daran dem Verständniss keine Schwierigkeiten bietet.

Versuch 19. 25. Juni 1900. Tabelle I.

Rana temporaria getödtet. Rechtsseitiger Ischiadicus; Reizstelle am oberen Ischiadicusdrittel; Druckstelle 1 cm unterhalb. Faradischer Strom. 2 Daniell.

Zeit	Reizung des Nerven unterhalb der Druckstelle. Rollenabstand in mm	Reizung des Nerven oberhalb der Druckstelle. Rollenabstand in mm	Druck in g
9h 10′	260	259	—
9h 15′	260	260	15
9h 16′	233	—	—
	210	—	—

Zeit	Reizung des Nerven unterhalb der Druckstelle. Rollenabstand in mm	Reizung des Nerven oberhalb der Druckstelle. Rollenabstand in mm	Druck in g
9h 17′	168	—	0
9h 18′	160	250	20
9h 19′	142	—	—
	115	—	—
9h 21′	80	—	—
9h 22′	40	245	—

Dasselbe Präparat. Reizstelle am mittleren Ischiadicusdrittel. Druckstelle 1 cm unterhalb.

9h 25′	280	220	15
	260	—	—
9h 27′	220	—	—
	193	—	—
9h 29′	170	—	—
	178	—	0
9h 31′	175	217	15
9h 34′	180	—	—
	106	—	—
9h 36′	70	—	—
	68	—	—
9h 38′	72	—	0
9h 39′	70	212	—

Ischiadicus der anderen Seite. Reiz- und Druckstelle an der oberen Ischiadicushälfte.

9h 50′	235	237	—
9h 52′	235	237	—
9h 53′	—	—	25
9h 54′	221	236	—
9h 56′	220	—	—
9h 58′	206	—	—
10h 0 ′	125	—	—
10h 02′	127	—	30
10h 04′	—	230	0
10h 06′	116	—	—
10h 08′	80	—	—
10h 10′	72	—	—
10h 15′	40	230	—
	keine Erregung		

Zu diesen Resultaten möchte ich bemerken, dass die Variationen in der Reizbarkeit des Nerven oberhalb der Compression in Wirklichkeit mehr scheinbar als thatsächlich vorhanden sind, d. h. sie scheinen nicht abzuhängen von einer wirklichen Veränderung der Aufnahmefähigkeit des Nerven selbst, sondern offenbar nur von einer

Unterbrechung oder Herabsetzung der Leitungsfähigkeit des Nerven unterhalb der Compression. Es ist also sie Herabsetzung der Reizbarkeit der Nerven oberhalb der Compression in allen unseren Versuchen keine absolute, sondern nur eine relative, d. h. eine von den Leitungsverhältnissen des Nerven abhängige. Der beste Beweis hierfür ist der Umstand, dass, wenn man die Compression aufhebt und die Leitungsfähigkeit des Nerven wiederherstellt, der Nerv sich wieder wie vorher reizbar zeigt, indem die Reize von der gereizten Stelle aus ablaufen, ohne durch die Compression daran gehindert zu werden.

Fig. 5. Druckapplication, während sich der N. ischiadicus im Zustande faradischer Reizung befindet. Bei *2* und *3* normale Tetanuscurve — ↑ Beginn des Drucks. ↓ Aufhören des Drucks. Die Zahlenangaben bei den Pfeilen geben den Druck in Grammen an.

Aus diesen ersten Experimenten würde also Folgendes hervorgehen: Wenn man einen angemessenen Druck auf einen Nerven ausübt, so gelingt es, momentan den Verlauf des motorischen Impulses im Nerven selbst zu unterbrechen oder die Intensität jenes Impulses zu vermindern; die Wiederherstellung der Function ist mehr oder weniger vollständig je nach der Intensität und Dauer des Druckes. Nur selten — vorausgesetzt, dass die comprimirte Strecke sehr eng begrenzt ist — geht der Unterbrechung der Leitung ein kurzer Zeitraum gesteigerter Function voraus.

Nun will ich dazu übergehen, die Art und Weise zu besprechen, wie der Druck auf die Leitungsfähigkeit der Nerven einwirkt in Hinsicht auf die verschiedenen Reize, welche ihn zu erregen im Stande sind. Die bis jetzt angeführten

Experimente sind schon ein erster Beitrag zu dieser Frage, soweit sie sich auf elektrische Reize bezieht.

Wenn man den Druck auf den Nerv, wie anfänglich beschrieben, einwirken lässt und gleichzeitig in einer Entfernung von 15—20 mm einen tetanisirenden Reiz setzt, so erhält man folgende Resultate: Wenn der Druck stark ist, so vermindert sich die Tetanuscurve sehr schnell (Fig. 5), mitunter augenblicklich, um zum Anfangsniveau zurückzukehren; erneuert man kurze Zeit nachher den Reiz, so kann der Nerv wieder leitungsfähig sein, vorausgesetzt, dass der Druck nicht zu stark und anhaltend war. Das Sinken kann eintreten, ohne dass die Tetanuscurve ihren tonischen Charakter verliert, oder aber es

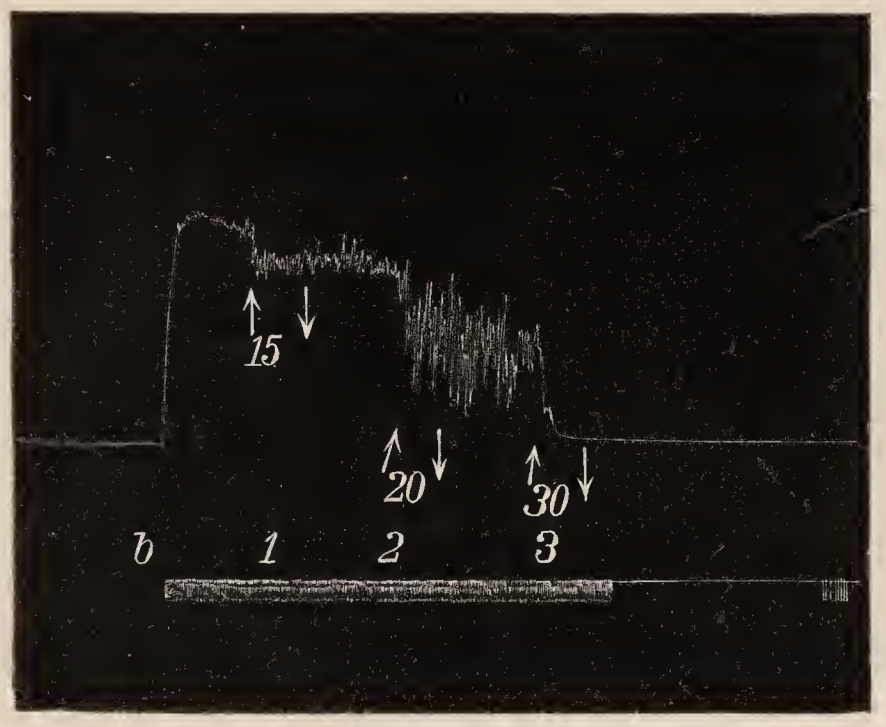

Fig. 6.

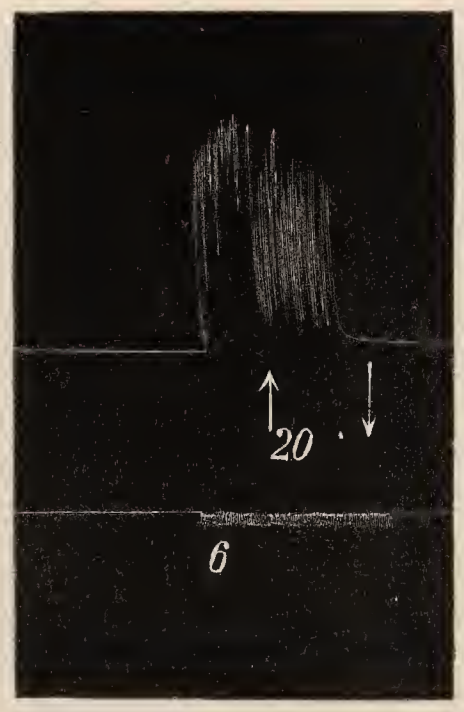

Fig. 7. Druckapplication. während sich der N. ischiadicus im Zustande faradischer Reizung befindet.

macht das Präparat, ehe es sein Anfangsniveau wieder erreicht, einige mehr weniger clonische Contractionen.

Bei einem Druck von mässiger Intensität, der dann sogar länger anhalten kann als der eben beschriebene, sinkt die Tetanuscurve, wobei sie aber nicht selten ihre tonische Form verliert, so dass allmälig ein clonischer Tetanus entsteht; überhaupt tritt dieses Streben des Tetanus, sich aus einem tonischen in einen clonischen zu verwandeln, zuweilen deutlich zu Tage. Ich berichte über einige Beispiele für diese Erscheinung: in einem der Fälle wurde der Druck ausgeübt während Einwirkung eines tetanischen Reizes (Fig. 6 u. 7); in einem anderen Falle (Fig. 8) wurde von Zeit zu Zeit ein kurzer Tetanus dem Nerven oberhalb und unterhalb der compri-

mirten Punkte zugeschickt; in diesem letzten Falle beachte man, dass während vor dem Druck die beiden Tetanuscurven identisch waren, während der Dauer desselben die durch Reizung oberhalb des comprimirten Punktes erhaltene Curve clonisch wird. Das legt die Vermuthung nahe, dass eine gewisse Anzahl der Impulse, die von einem höher gelegenen Punkte des Nerven ausgehen, durch die Comprimirung zurückgehalten oder verzögert wird.

Ob diese Art Widerstand von Interferenzerscheinungen abhängt, sollen spätere Versuche darthun, welche unter Berücksichtigung der speciellen elektrischen Veränderungen, die durch die Comprimirung hervorgerufen werden, auszuführen sind. Ich denke hier an die

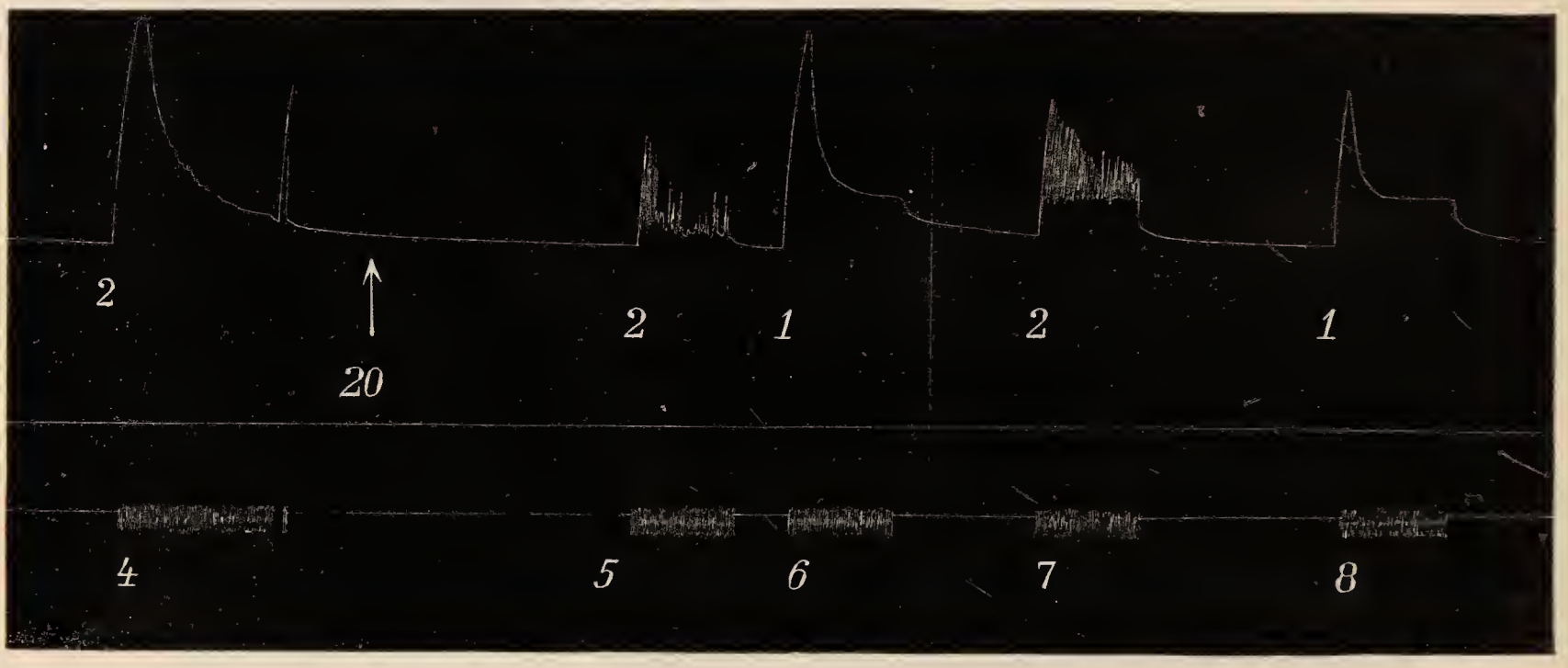

Fig. 8. Bei *1* Reizung des Nerven unterhalb der Druckstelle. — Bei *2* Reizung des Nerven oberhalb der Druckstelle bei gleicher Reizfläche.

Versuche von Grützner, welcher feststellte, dass die Stromesrichtung einen grossen Einfluss auf die locale Reizbarkeit eines Nerven hat, welcher in der Mitte durch eine Ligatur comprimirt wird. Er sah nämlich, dass, wenn bei schwingendem Hammer der Oeffnungsinductionsschlag im Nerven absteigend verlief, sich eine grosse Erregbarkeit constatiren liess in den oberen Partien des Nerven in der Nähe der Hüfte und ferner dicht unter der Umschnürungsstelle. Waren dagegen die Oeffnungsschläge aufsteigend gerichtet, so reagirten auf sie wesentlich nur die unteren, nahe dem Wadenmuskel gelegenen Abschnitte des Nerven und die dicht über der Compressionsstelle befindlichen. Versuche mit dem constanten Strom ergaben die gleichen Resultate.

Diese Abhängigkeit der Erregbarkeit von der Stromesrichtung

wird durch die Nervenströme bedingt, welche sich in Folge der Compression entwickeln und von der gequetschten Stelle aus nach beiden Seiten hin ablaufen. Wenn es sich nun um tetanisirende Ströme handelt, können diese Verhältnisse eine grosse Rolle spielen für den Fall, dass die Ströme sehr schwach gewählt werden. Auch bei Anwendung nicht-elektrischer Reize habe ich stets an die Möglichkeit von localen Veränderungen der Reizbarkeit der Nerven gedacht. Um diese Quelle von Irrthümern zu vermeiden, wechselte ich einerseits häufig die Stromesrichtung, andererseits beliess ich die Reizstelle während des ganzen Versuchs am gleichen Orte. Ich führte auch die Versuche mit möglichst grosser Schnelligkeit aus und nahm das Resultat immer nur von einer grossen Anzahl von Beobachtungen, die ich an verschiedenen Abschnitten des Nerven angestellt hatte.

Häufig bemerkt man eine Wiederherstellung der Leitung, wenn diese vollständig aufgehoben war, namentlich wenn die Gewichte relativ leicht waren und die Einwirkung nicht allzu lange dauerte. Es muss jedoch ein energischerer Reiz ausgeübt werden, um dieselben Wirkungen wie vorher zu erzielen.

Bezüglich der Einwirkung der Compressionen von geringer Stärke auf die Tetanuscurve habe ich viele Versuche gemacht; da aber ihre Wirkung sehr langsam eintritt und kaum nachweisbar ist, so lässt sich schwer ein Urtheil darüber abgeben, welcher Theil der Erscheinungen in Wirklichkeit der Compression und welcher der einfachen Erschöpfung des Präparates zuzuschreiben ist.

Was die mechanische Reizung betrifft (die ich ausführte, indem ich mit einer möglichst feinen Spitze oder mit dem Rücken eines Messerchens die Erregung bewerkstelligte), so erhält man auch hier durch die Einwirkung des Druckes eine Unterbrechung in der Leitung der Reize. Ehe diese Unterbrechung eintritt, kann sich eine Schwächung in der Energie der Reactionen zeigen. Zuweilen führen die wiederholten mechanischen Reizungen mehr weniger häufige rhythmische Contractionen herbei, welche die Form eines tonischen oder clonischen Tetanus annehmen können, besonders wenn die Compression noch hinzutritt. Dieser Tetanus vermindert sich oder lässt vollkommen nach, wenn man den Nerven unterhalb des gereizten Punktes oder unterhalb der Compressionsstelle durchschneidet. Auch im Falle der mechanischen Reizung kann man eine Wiederherstellung der Function erhalten, nachdem der Druck die

Leitung aufgehoben hatte, und zwar unter denselben Bedingungen, wie man es bei den elektrischen Reizen beobachtet.

Die Leitung der Impulse, die durch chemische Reize entstanden sind, wird durch die Compression des Nerven denselben Beeinflussungen unterworfen wie bei den mechanischen Reizen. So z. B. wird ein von Glycerin herrührender Tetanus abgeschwächt oder unterbrochen, wenn man ein Gewicht von mittlerer Intensität einwirken lässt (Fig. 9).

Dasselbe tritt ein bei den rhythmischen Contractionen, die durch hypertonische Lösungen von Kochsalz erregt werden. Die Tetanuscurve sinkt, bis sie fast auf die Abscisse zurückkehrt, aber die rhythmischen Contractionen hören erst viel später auf. Ist das Gewicht von mittlerer Grösse, so erhält man ein sehr langsames Sinken der Tetanuscurve, worauf ebenfalls ein sehr langsames Steigen folgt, wenn man das Gewicht entfernt (Fig. 10). Es ist mir hier nie gelungen, gesteigerte Function als unmittelbare Folge der Compression zu beobachten.

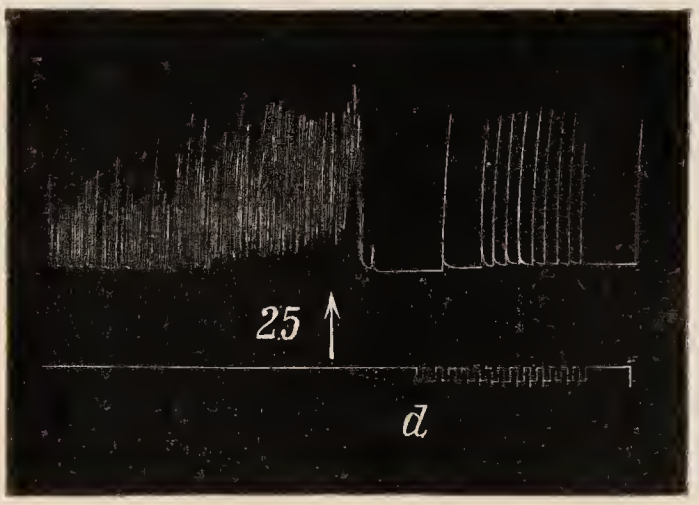

Fig. 9. Rana temp. Nervmuskelpräparat. Chemische Reizung am oberen Nerventheil mit Glycerin. ↓ Druck von 25 g. Bei *a* elektrische Reizung mit Oeffnungsinductionsströmen.

Auf andere Einzelheiten in Bezug auf die mechanischen und chemischen Reize werde ich später zurückkommen.

Eine der Fragen, die für mich von grossem Interesse waren, bestand darin, wie sich die Leitung der verschiedenen Arten von Reizen, die den Nerv erregen können, in Bezug auf ihre Fähigkeit, eine comprimirte Nervenstelle zu durchdringen, verhält.

Da der Unterschied der Reactionen bekannt ist, welchen die von den Nervenzellen des Rückenmarks ausgehenden specifischen Erregungen, ferner die elektrischen, chemischen und mechanischen Reize im Muskel auszulösen im Stande sind, so ist anzunehmen, dass auch die verschiedenen Impulse, die im Nerven verlaufen, wenigstens quantitativ verschieden sein werden für die verschiedenen Arten der Reize. Nun war aber zu erwarten, dass der Druck, abgesehen von den Angaben, welche wir bereits hinsichtlich des Verlaufes der Muskelcontraction besitzen, auch noch andere Daten für die Unterscheidung der Natur der verschiedenen Reizarten liefern könne.

Die ersten Untersuchungen hierüber stellte ich an, indem ich die Leitung der vom Rückenmark ausgehenden Impulse mit der Leitung der von elektrischen Reizungen des Nervenstammes ausgehenden Impulse verglich.

Der Versuch wurde auf folgende Weise vorgenommen. Ein Frosch wurde decapitirt, und die Ischiadici wurden auf beiden Seiten präparirt, aber nicht vom Rückenmark abgetrennt. An einem Bein liess ich die Pfote noch von der Haut bedeckt; an dem anderen präparirte ich den Gastrocnemius frei und legte den Nerv zum Compressionsversuche zurecht; auf demselben, oberhalb des comprimirenden Fadens, befand sich ein Paar Elektroden, während das andere Paar dazu diente, den Nerven der anderen Seite oder die Haut der Pfote zu erregen. Hierauf reizte ich durch einen tetanisirenden Strom abwechselnd auf der einen Seite und auf der anderen, indem ich die minimalen Reizgrössen ausprobirte.

Aus der Zahl der von mir angestellten Versuche, die stets identische Resultate ergaben, will ich nur zwei Beispiele anführen. (Tabelle 2 und 3; siehe S. 54 und 55.)

Aus diesen Versuchen kann man sich leicht eine Vorstellung von der Art und Weise bilden, wie sich die Leitung der im Rückenmark erzeugten Reize gegen die Compression verhält. Die Leitung für diese Reize hört ziemlich schnell durch die Com-

Fig. 10. Rana temp. getödtet. Nervmuskelpräparat. An die obere Partie des Ischiadicus wird ein mit 5 %iger Kochsalzlösung getränktes Fliesspapierstückchen angelegt. Starke Contractur des Gastrocnemius. Nun wird in den durch Pfeile markirten Momenten am unteren Theil des Nerven ein Druck applicirt, dessen jedesmaliger Werth in Gramm aus den bei den Pfeilen stehenden Zahlen ersichtlich ist. Bei 5 und 6 elektrische Reizung mit Inductionsströmen.

Versuch 36. 9. Juli 1900. Tabelle 2.

Grosse Temporaria. Wird decapitirt; beiderseits werden die Ischiadici ohne Abtrennung vom Rückenmark präparirt. Anwendung des faradischen Stromes (1 Daniell). Reizung des linken Ischiadicus mit unpolarisirbaren Elektroden; registrirt wird die Muskelcurve des rechten Gastrocnemius. Der Druck wird auf den rechten Ischiadicus applicirt; 1 cm oberhalb der Druckstelle wird ein zweites Paar unpolarisirbarer Elektroden angelegt.

	Reizung des rechten Ischiadicus. Rollenabstand in mm	Reizung des linken Ischiadicus. Rollenabstand in mm
$9^h\ 55'$ (Reizintervalle von 3′)	270	115
	272	117
	270	113
$10^h\ 5'$	Beginn eines Drucks von 30 g	
	—	95
	—	60
	—	50
$10^h\ 17'$	230	36
	230	keine Erregung
		—
	230 Mechanische Reize, die oberhalb der Bruchstelle applicirt werden, geben deutliche Reactionen.	Die rechtsseitigen Oberschenkelmuskeln, die nur an den distalen Insertionen abgetrennt sind, zeigen lebhafte Reactionen.
	227	—
$10^h\ 35'$	221	—

Versuch 37. 9. Juli 1900. Tabelle 3.

Grosse Temporaria. Versuchsanordnung wie beim vorigen Experiment, nur wird links statt des Ischiadicus der hautbedeckte Unterschenkel mit zwei Pinselelektroden gereizt.

	Reizung des rechten Ischiadicus. Rollenabstand in mm	Reizung des linken Unterschenkels. Rollenabstand in mm
$10^h\ 45'$ (Reizintervalle von 3′)	240	134
	240	134
	240	132
	Druck von 20 g	
		134
$11^h\ 2'$	236	122
		120
$11^h\ 8'$	225	80
	Mechanische Reize wirksam	60

	Reizung des rechten Ischiadicus. Rollenabstand	Reizung des linken Unterschenkels Rollenabstand
11h 15′	220	25 keine Erregung
	220	— keine Erregung (Die rechtsseitigen Oberschenkelmuskeln zeigen lebhafte Reactionen).
	Mechanische Reize wirksam	

pression des Nerven auf, ohne dass sich Thatsachen gesteigerter Function oder von Wiederherstellung der Leitungsfähigkeit für diese Reize zeigen. Dass diese Befunde nicht auf Erschöpfung des Rückenmarks zurückzuführen sind, wurde dadurch erwiesen, dass die Schenkelmuskeln derselben Seite energisch auf den Reiz reagirten, wenn der Gastrocnemius völlig unbeweglich blieb. Wenn die vom Rückenmark ausgegangene Erregung nicht mehr durch den comprimirten Punkt passiren konnte, so ging dagegen ohne Schwierigkeit der durch elektrische Reizung des Nerven erzeugte Impuls hindurch. Dieser Reiz war relativ geringfügig. Die Resultate waren immer constant und die Differenzen so gross, dass sie keinen Zweifel bezüglich der Thatsächlichkeit des Vorgangs zuliessen.

Es ist ganz natürlich, dass man sich nun fragt, wie sich dem Druck gegenüber die Leitung der Reflexreize verhält bei anderen Arten von Reizungen, wie z. B. den mechanischen und chemischen. Was die mechanischen Reize betrifft, so sind die Resultate gerade so augenfällig wie bei den durch Elektricität hervorgerufenen; der comprimirte Punkt lässt die vom Rückenmark ausgehenden Impulse nicht mehr durch, während eine mit einer ganz feinen Spitze ausgeführte mechanische Reizung des Nerven noch starke Reactionen ergibt, zu deren Aufhebung eine verlängerte Einwirkung desselben Gewichts oder die Einwirkung grösserer Gewichte erforderlich ist. Wenn jedoch der Gastrocnemius nicht mehr erregbar ist durch mechanische Reize, die oberhalb des comprimirten Punktes auf den Nerven wirken, so ist er es doch noch für elektrische Reize, die auf denselben Punkt wirken, wie wir bald sehen werden.

Nicht so augenscheinlich sind die Wirkungen hinsichtlich der chemischen Reize, die einwirken, wenn man den Nerv mit Bäuschen

von glycerindurchtränktem Papier oder mit hypertonischen Lösungen von NaCl behandelt. Die zu diesem Zwecke angestellten Experimente ergaben keine constanten Resultate; in den meisten Fällen schien es, als ob die Leitung gleichzeitig für die beiden Arten von Reizen aufhörte, während das Präparat wohl erregbar blieb für mechanische und elektrische Reize. Die Unsicherheit der Resultate lässt den Gedanken aufkommen, dass die Leitung der chemischen Reize unter Bedingungen vor sich gehe, welche den bei den Reflexreizen vorhandenen sehr nahe stehen. Auf diese sehr wichtige Constatirung behalte ich mir vor mit neuen Untersuchungen gelegentlich zurückzukommen.

Es erübrigt nun, zu betrachten, in welchen wechselseitigen Beziehungen die verschiedenen auf denselben Nerven ausgeübten Reize in Bezug auf die Leitung stehen, wenn der Druck auf eine untere Stelle des Nerven einwirkt. Bei diesen Experimenten wurde das einfache Muskelnervpräparat verwendet, an welchem wie gewöhnlich zwei Paar Elektroden angebracht wurden, eins oberhalb und eins unterhalb des comprimirten Punktes.

Zuerst beobachtete ich, wie sich die Leitung der elektrischen Reize zu derjenigen der mechanischen und chemischen Reize verhielt. Was die ersteren betrifft, so ergibt sich zur Evidenz, dass, wenn die mechanischen Reize (die in oben angegebener Weise ausgeführt wurden) nicht mehr im Stande sind, das durch den Druck gesetzte Hinderniss zu überwinden, das Präparat noch auf elektrische Reize von relativ kleiner Intensität reagirt.

Noch augenscheinlicher ist der Contrast in Bezug auf die chemischen Reize. Wenn die Leitung für die durch die hypertonischen oder Glycerin-Lösungen erregten Impulse vollständig aufgehört hat, so hat sich die Leitung für die elektrischen Reize noch sehr wenig geändert.

Was die Beziehungen zwischen mechanischen und chemischen Reizen betrifft, so sind die Erscheinungen ebenso evident, und es ergibt sich klar das Resultat, dass der comprimirte Punkt des Nerven, der die von chemischen Reizen herrührenden Impulse nicht mehr hindurchlässt, für die mechanischen noch ein guter Leiter ist.

Aus der Gesammtheit dieser Experimente, deren Resultate sich gegenseitig unterstützen, kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass, während die Wirkungen der Compression dem Durchgang der Impulse, die reflectorisch oder mit chemischen Mitteln erzeugt worden

sind, grössere Schwierigkeiten bereiten, sie besonders den elektrischen Reizen und ferner auch den mechanischen einen viel geringeren Widerstand entgegensetzen. Mit anderen Worten: die verschiedenen Reizarten erzeugen von einander unterscheidbare Nerventhätigkeiten, deren Unterschiede sich nicht allein durch die mannigfachen Formen der Muskelreaction offenbaren, sondern auch durch ihre grössere oder geringere Fähigkeit, Widerstände zu überwinden, die künstlich in den Verlauf des Nerven eingeschaltet werden.

Gehen wir nun zu einer anderen Frage über. Ist die Compression des Nerven im Stande, einen Einfluss auf die specielle Form der Muskelcontraction auszuüben, die wir durch Reizung eines oberhalb der Druckstelle gelegenen Nervenpunktes hervorrufen? Unsere Kenntnisse hinsichtlich der Beziehungen, welche zwischen der Form der Muskelcontraction und der Leitungsfähigkeit des Nerven bestehen, sind sehr dürftig, trotzdem jene Beziehungen sehr wichtig erscheinen; desshalb wollte ich mir die Gelegenheit nicht entgehen lassen, mich mit der Sache zu beschäftigen, da ich bedachte, dass der Druck ein so geeignetes Mittel an die Hand gibt, die Bedingungen der Leitungsfähigkeit des Nerven zu variiren.

Die Experimente wurden in gleicher Weise angestellt wie diejenigen über die Beziehungen zwischen der Richtung des Stromes und der Compression; es wurde nämlich ein constanter Strom angewendet, der von einem Daniell'schen Elemente ausging, und dessen Spannung nach der Methode von Poggendorf geregelt wurde. Das elektrische Signal und die Bowditch'sche Uhr bildeten auch hier einen unabhängigen Stromkreis. Es war auch noch eine Stimmgabel vorhanden, welche auf dem berussten Cylinder die Fünfzigstel-Secunden verzeichnete. Es wurden immer erst einige Bestimmungen mit dem normalen Präparat ausgeführt, hierauf wirkte der Druck ein, und es wurden dann weitere Bestimmungen vorgenommen von dem Augenblick an, in welchem die Einwirkung der Gewichte sich zu zeigen begann, bis das Präparat eben noch reagirte; als gar kein Erfolg mehr eintrat, wurden Controlbestimmungen durch Reizung des Präparates unterhalb des comprimirten Punktes ausgeführt.

Diejenigen Elemente der Muskelcontraction, welchen ich hauptsächlich meine Aufmerksamkeit zuwandte, waren: 1) die Latenzzeit; 2) die Höhen der Contraction; 3) ihre Dauer. Von diesen drei Factoren

sind die beiden ersten leicht zu bestimmen, der letzte nicht immer. Der Uebergang der Contractionscurve zu ihrem ursprünglichen Niveau geschieht bei den verschiedenen Präparaten auf sehr verschiedene Weise, und bei demselben Präparate sind die betreffenden Grössen nicht immer constant. Zuweilen vollzieht sich die Rückkehr zur Abscisse sehr schnell, und alsdann ist die Länge der Curve leicht zu beurtheilen, aber mitunter ist jene Rückkehr eine sehr langsame; es ist eine Art Contractur vorhanden, und der zweite Theil der absteigenden Contractionscurve kann dann sehr lange dauern.

Aus den von mir in Bezug auf diese Frage vorgenommenen Experimenten hat sich in constanter Weise das Resultat ergeben, dass die Latenzzeit, welche zwischen dem Augenblick des auf den Nerv oberhalb des Druckes ausgeübten Reizes und dem Beginn der Muskelcontraction vergeht, nie durch die Einwirkung des Druckes verändert wird; sie behält ihre den normalen gleichen Werthe auch bei, wenn die Höhe der Contraction durch die Einwirkung der Gewichte zehnmal geringer geworden ist.

Der Charakter der Contraction, der in höherem Grade alterirt wird durch die Einwirkung des Druckes, ist die Höhe. Ich hatte schon zu wiederholten Malen und bei verschiedenen Gelegenheiten Veranlassung, über den Verlauf der Höhe ausführlich zu sprechen; ich verwendete natürlich Gewichte, die höher waren als die mittleren, damit das Experiment schnell vor sich ginge und bei einer nicht allzu grossen Anzahl von Bestimmungen ein schnelles Urtheil über jedes Präparat ermöglichte. Die von mir gegebenen Beispiele (s. Tabelle Nr. 4) sind hinlänglich beweiskräftig.

Versuch 14. 20. Juni 1900. Tabelle 4.

Rana temporaria. Nervmuskelpräparat. Galvanischer Strom. 2 Daniell. Rheochord nach Poggendorff. Unpolarisirbare Elektroden.

1. Reizung des rechten Ischiadicus an der oberen Partie; Druckstelle 1 cm unterhalb. Schliessungszuckung; aufsteigender Strom. Reizintervall von 2″. Rheochord = 27. Maximale Reize.

	Latenzzeit in $^1/_{50}$ Sec.	Zuckungsdauer in $^1/_{50}$ Sec.	Zuckungshöhe in mm
	2,3	17,5	15,5
	2,5	20,4	16,0
	2,1	23,6	15,6
	2,0	—	15,5

	Latenzzeit in 1/50 Sec.	Zuckungs-dauer in 1/50 Sec.	Zuckungs-höhe in mm
Druck = 30 g	2,4	12,3	13,0
	2,2	11,5	11,5
	2,3	9,0	8,8
	2,2	11,9	9,0
	2,4	5,0	7,2
	2,5	5,1	—

Reizung des Nerven unterhalb der Druckstelle mit gleicher Reizstärke.

2,6	15,5	17,0
2,5	19,2	17,0
2,5	15,4	14,0
2,6	14,3	17,5

2. Reizung des linken Ischiadicus an der oberen Partie. Versuchsanordnung wie oben. Rheochord = 32.

	1,9	9,0	11,0
	1,9	11,0	11,0
	1,9	—	11,0
	1,8	12,0	10,5
	1,9	9,1	11,0
Druck = 10 g	2,0	9,0	10,5
	1,8	10,3	9,0
	2,0	8,0	9,0
	2,0	9,5	9,0
	2,0	9,6	9,0
Druck = 15 g	1,5	7,1	7,0
	2,0	9,5	7,0
	2,1	10,2	7,0
	2,0	7,8	7,0
	2,1	12,0	6,5
	2,1	10,5	4,5
	2,0	11,3	4,5
	—	11,5	4,5

3. Dasselbe Präparat. Druck- und Reizstelle am mittleren Ischiadicus-drittel. Rheochord = 40.

	2,0	13,5	13,5
	2,0	11,5	13,0
	2,0	14,8	13,0
	2,0	12,0	13,5
Druck = 30 g	2,2	15,0	12,0
	2,1	13,0	7,5
	2,1	—	5,5
	2,0	14,0	6,0
	2,0	12,8	7,0
	2,0	12,2	4,5
	2,3	10,9	4,5
	2,7	13,0	4,5
	2,7	13,2	3,5

Versuch 15. 21. Juni 1900.

Rana esculenta. Versuchsanordnung wie bei Experiment 14.

1. Reizung des rechten Ischiadicus an der oberen Partie; Druckstelle 1 cm unterhalb. Oeffnungszuckung. Reizintervall von 2″. Rheochord = 11,5.

	Latenzzeit in 1/50 Sec.	Zuckungsdauer in 1/50 Sec.	Zuckungshöhe in mm
Druck = 20 g	2,3	25,1	13,6
	2,3	17,0	13,6
	2,2	25,0	14,0
	2,3	17,0	14,0
	2,5	—	12,5
	2,5	15,0	12,5
	2,5	16,0	11,6
	2,5	12,7	11,5
	2,5	17,5	11,0
	2,6	12,0	11,0
	2,5	12,0	7,0
	2,6	11,8	7,0
	2,6	11,1	1,5
	2,6	10,3	1,5
	2,6	12,5	1,5
	2,7	10,5	1,5

2. Druck- und Reizstelle an der unteren Partie des linken Ischiadicus. Rheochord = 30.

	2,0	23,0	13,0
	2,0	20,0	13,5
	2,7	19,8	13,0
	2,6	16,2	13,0
	2,3	19,0	13,0
	2,1	19,1	13,0
Druck von 15 g	2,6	19,5	10,0
	2,8	19,6	9,5
	2,0	18,0	9,0
	2,8	—	7,5
	2,0	17,0	6,2
	2,6	17,5	3,5
	3,0	15,5	3,2
	2,0	13,0	2,2
	3,0	—	1,5

Reizung des Nerven unterhalb der Druckstelle mit gleicher Reizstärke.

	1,9	24,3	10,7
	2,0	20,0	10,5
	2,0	18,5	10,5
	2,0	19,0	10,0
	2,9	28,0	9,5
	2,0	28,0	9,0
	2,9	28,2	10,0
	2,0	—	10,0

Dagegen ist nicht ebenso klar der Einfluss des Druckes auf die Dauer der Contractionscurve. Es vermindert sich zuweilen, wenn die Höhe der Contraction sinkt, gleichzeitig auch ihre Länge, obgleich in geringerem Grade, bis sie Werthe von der Hälfte der normalen erreicht. In anderen Fällen dagegen sinkt die Höhe der Curve bedeutend, während die Länge der Contraction ganz oder beinahe unverändert bleibt. Eine Verlängerung derselben habe ich niemals beobachtet, ähnlich den Erscheinungen, welche durch Ermüdung des Muskels auftreten, — wie sie Goldscheider erhielt, als er den Nerv auf einer Strecke seines Verlaufes mit Alkohol behandelte.

Um mich besser in der Frage zu orientiren, musste ich verschiedene Reihen von Curven entwerfen, die bei verschiedener Intensität des Stromes aufgenommen wurden und mithin von verschiedener Höhe waren. Auch hier änderte sich die Latenzzeit nicht, auch dann nicht, wenn die Curve merklich niedriger war als die durch grössere Intensität des Reizes entstandene; was die Länge der Contraction betrifft, so hat der verminderte Reiz keinen Einfluss auf dieselbe, oder die Verkürzung ist jedenfalls ganz unbedeutend und stellt nur einen kleinen Bruchtheil der Höhenabnahme dar (Tabelle Nr. 5).

Versuch 16. 22. Juni 1900. Tabelle 5.

Rana esculenta. Versuchsanordnung wie bei Experiment 15.

Reizung des linken Ischiadicus an der oberen Partie; Schliessungszuckungen. Reizintervall von 2″.

Latenzzeit in $^1/_{50}$ Sec.	Zuckungsdauer in $^1/_{50}$ Sec.	Zuckungshöhe in mm
Maximale Reizung — Rheochord = 21		
2,5	14,5	11,5
2,9	18,5	11,5
2,5	16,6	11,0
Untermaximale Reizung — Rheochord = 18		
2,8	17,5	5,5
2,9	16,0	3,0
3,0	18,4	3,0
3,1	14,0	6,0
2,8	17,1	5,0
2,5	14,6	4,0
2,5	16,5	4,0
2,0	17,8	—

Latenzzeit in 1/50 Sec.	Zuckungsdauer in 1/50 Sec.	Zuckungshöhe in mm
Maximale Reizung — Rheochord = 21		
2,4	16,5	8,5
2,3	15,0	8,5
2,5	19,5	8,5
2,8	16,0	8,5
Untermaximale Reizung — Rheochord = 18		
2,6	19,5	6,5
2,6	16,8	5,5
3,0	18,6	3,5
2,5	18,2	4,5
Maximale Reizung — Rheochord = 21		
2,5	18,5	7,0
2,4	16,3	7,0
2,6	18,6	7,0
2,5	18,1	7,0

Zieht man nur die constanten Daten in Betracht, die sich als Wirkungen der Compression des Nerven auf die Curve der Muskelcontraction ergeben, und vergleicht man sie mit den Curven, die man durch Reize von verschiedener Intensität erhält, so kommt man natürlich auf den Gedanken, dass im Falle der Compression die Unterschiede, welche sich zwischen den normalen Daten und den nach Anwendung der Gewichte erhaltenen ergeben, nur quantitative Veränderungen des Impulses darstellen, den man durch den Punkt der Compression hindurch gehen lässt; die Schnelligkeit des Impulses dagegen scheint nicht verändert zu sein. Was die Dauer der Contraction betrifft, so kann ich sie nicht zum Gegenstand meiner Darlegungen machen, weil die Art und Weise ihres Verhaltens zu inconstant ist.

Hängen die beschriebenen Erscheinungen davon ab, dass in Folge der Compression eine gewisse Anzahl von Nervenfasern nicht mehr leitet und sich desshalb eine kleinere Zahl Fasern im Muskel contrahirt? Die Möglichkeit kann man gewiss nicht ausschliessen, dass die Compression auf ungleiche Weise auf die concentrischen Schichten des Nerven — vielleicht nur anfangs — einwirkt. Die Resultate einiger der oben beschriebenen Experimente jedoch, insbesondere diejenigen, welche sich auf die Einwirkung der Gewichte auf die Tetanuscurve, sowie auf den Einfluss der Richtung des Stromes beziehen, und die Untersuchungen über die Beziehungen

zwischen den verschiedenen Arten der Reize ermuntern nicht zu der Annahme, dass die Verschiedenheiten in der Form der Contractionen, sowie in der Dauer der Reactionen, die man vermittelst des Druckes erhält, wesentlich dem allmäligen Ausscheiden von leitenden Elementen des Nerven und dem fortschreitenden Wegfall von contrahirten Fasern zuzuschreiben seien. In diesen Fällen — auch wenn man die Erscheinung der Erhöhung der Function nicht in Betracht zieht — ist nicht allein und nicht immer das Sinken der Curve der Muskelcontraction die vorwiegende Erscheinung, sondern man erhält qualitative Veränderungen der Reactionen, Abweichungen derselben in Folge der Verschiedenheit der Reize, die man absolut nicht zurückführen kann auf den einfachen Mangel der Function in einem Theile des Muskels.

Weitere Daten in Bezug auf diesen Punkt werden uns wieder begegnen, wenn wir uns mit den histologischen Veränderungen des comprimirten Nerven zu beschäftigen haben werden.

Ein anderer Punkt, den ich nicht aus den Augen verlieren durfte, war das Studium der Compressionswirkung mit Rücksicht auf die Stelle des Nerven, an welcher sie angewendet wurde. Mit anderen Worten: verhält sich der Impuls, welcher von einem Reiz ausgeht, der am oberen Theile ausgelöst wird, ganz ebenso wie derjenige, welcher von der unteren Hälfte des Nerven ausgeht, falls der Druck dauernd seinen Sitz in der Nähe des Muskels hat? Und zweitens, üben die am Nerven angebrachten Belastungen dieselbe Wirkung aus, wenn sie an verschiedenen Stellen auf den Nerv gelegt werden?

Die Experimente, welche durch Compression des Nerven in seinem unteren Verlaufe und durch abwechselnde Reizung mittelst tetanisirender Ströme ausgeführt wurden, das eine Mal 1 cm oberhalb des comprimirten Punktes und das andere Mal in der Nähe des Nervengeflechts, lieferten mir folgendes Resultat: Wenn in Folge der Compression des Nerven der Gastrocnemius nicht mehr auf solche Reize reagirt, die auf den oberen Theil des Nerven applicirt werden, so reagirt er doch noch gut, wenn selbst kleinere Reize auf den unteren Theil des Nerven einwirken. Ich führe einige Beispiele an (Tabelle 6 und 7):

Versuch 49. 12. Juli 1900. Tabelle 6.

Rana temporaria. Nervmuskelpräparat. Druckapplication 13 mm vor dem distalen Nervenende. Ein Paar unpolarisirbarer Elektroden (*d*) wird 10 mm ober-

halb der Druckstelle angebracht, ein weiteres Paar (*b*) 26 mm oberhalb des ersten Paares. Die als Elektroden dienenden Baumwollfäden sind 3 mm von einander entfernt.

Reizintervall 2 Min.	Reizschwelle in (*a*) Rollenabstand in mm	Reizschwelle in (*b*) Rollenabstand in mm
8 h 15′	230	270
	230	270
	Druck = 25 g	
	232	270
	230	262
	222	240
	206	228
	152	180
	148	153
	121	118
	116	93
	104	64
	104	55
	93	20
	90	0
		keine Erregung
	88	0

Versuch 50. 12. Juli 1900. Tabelle 7.

Rana temporaria. Nervmuskelpräparat. Versuchsanordnung wie bei Versuch 49.

Reizintervall 2 Min.	Reizschwelle in (*a*)	Reizschwelle in (*b*)
10 h	220	275
	220	275
	Druck = 35 g	
	220	263
	218	260
	181	223
	176	170
	172	134
	155	118
	146	35
	115	0
	75	keine Erregung
		0
	71	0
	22	0
	10	0
	keine Erregung	

Das Resultat ist um so merkwürdiger und entscheidender, als ursprünglich die Erregbarkeit im oberen Theile grösser war als im

unteren; in Folge der Wirkung des Druckes vermindert sich die Leitungsfähigkeit für die Reize, welche vom oberen Theil des Nerven ausgehen, schneller, so dass ein Augenblick kommt, in welchem die Minimalerregbarkeit an den beiden Punkten gleich ist, und nachher eine dritte Zeitperiode, während welcher sie am oberen Theil geringer ist. Wenn dann an dem oberen Punkte bei einem Abstande der Inductionsspirale von wenigen Centimetern der Reiz nicht mehr wirksam ist, so wirkt dagegen am unteren Theile noch ein Reiz bei einer Entfernung von ungefähr 100 mm. Nach einigen Minuten hört auch die Leitung für die Reize auf, welche auf den unteren Theil des Präparats ausgeübt werden.

Aehnliche Wirkungen — nur ist die Differenz der Ziffern etwas geringer — erhält man, wenn man den Nerv 1 cm oberhalb der Compression und an einer mittleren Stelle seines Verlaufs reizt.

Sehr oft habe ich Gelegenheit gehabt, mich zu überzeugen, dass ein bestimmtes Gewicht viel mehr und viel schneller wirksam ist am unteren Theile des Präparats als am oberen. Während zuweilen ein Gewicht von 15 g an einem unteren Punkte des Nerven wirksam war, wurde eines von 25 g erforderlich, um dieselben Wirkungen am oberen Theile zu erreichen. Diesem Resultat kann man aber keine besondere Bedeutung beilegen, wenn man bedenkt, dass der Nerv am oberen Theile einen viel grösseren Durchmesser hat, und dass man desshalb eher an eine geringere Wirkung des Gewichtes als an einen grösseren Widerstand der einzelnen Fasern denken muss. Ich werde mich desshalb bei der Fortsetzung dieser Untersuchungen, die auch mit Reizen verschiedener Art durchzuführen sind, an einen Nerv halten, von dem keine Seitenäste abgehen, wie z. B. an den Phrenicus der Säuger.

Was aber die Reizung des Nerven im oberen und unteren Theile betrifft, so haben hier die Grössenverhältnisse sehr geringen Einfluss auf die Resultate. Die beobachteten Thatsachen stimmen mit der Ansicht überein, die bereits andere Autoren (Heidenhain, Grützner u. A.) auf Grund von Experimenten, die sich wesentlich von den meinigen unterscheiden, ausgesprochen haben — nämlich dass der Nervenimpuls nicht lawinenartig im Verlauf des Nerven anschwillt. Es scheint vielmehr, als ob jener Impuls auf seinem Laufe durch den Nerven einen Widerstand fände, der im Verhältniss steht zu der zu durchlaufenden Nervenstrecke, und als ob ein be-

trächtlicher Theil seiner Energie beim Ueberwinden dieser Widerstandes verloren ginge. Dies gilt wenigstens, soweit elektrische Reize in Frage kommen; eine solche Hypothese kann jedoch nicht endgültig aufgestellt werden, bevor man nicht constatirt hat, wie sich mechanische und chemische Reize, die man an verschiedenen Punkten des Nerven hat einwirken lassen, in Bezug auf die Compression verhalten; denn die Erregbarkeit des Nerven hinsichtlich der verschiedenen Arten von Reizen scheint an verschiedenen Stellen seines Verlaufes verschieden zu sein. Dass in diesen wie in den früheren Versuchen die Resultate von den Veränderungen der Leitungsfähigkeit des comprimirten Nerven abhängen und nicht durch Veränderungen der localen Reizbarkeit der gereizten Nervenstelle entstehen, lässt sich leicht wahrscheinlich machen. Es geht dies aus dem Unterschied im Ablauf der Reizbarkeit zwischen einem normalen und einem comprimirten Nerven hervor, besonders auch aus der Wiederherstellung der Leitungsfähigkeit und der Reizbarkeit nach Entfernung der Compression. Letztere Thatsache zeigt deutlich, dass die Abnahme der Erregbarkeit einer Nervenstelle oberhalb einer Compression auf die Schwierigkeit zu beziehen ist, welche die von oben kommenden Impulse beim Passiren der comprimirten Stelle zu überwinden haben.

Gehen wir nunmehr zu demjenigen Theile unseres Gegenstandes über, welcher schon wiederholt von anderen Autoren untersucht wurde, deren wenig übereinstimmende Resultate mich jedoch bewogen haben, neue Versuche anzustellen. Was am meisten bisher bei dem Studium der Einwirkung des Druckes auf die Nerven angestrebt wurde, ist gerade die Entscheidung gewesen, ob in Folge der Compression die Leitung in den sensiblen und motorischen Fasern zu verschiedener Zeit aufhöre.

Die ersten Beobachtungen in dieser Richtung hat Lüderitz (7) angestellt; auf Grund von Experimenten, die er am Kaninchen vornahm, und unter gleichzeitiger Verweisung auf die Ergebnisse der klinischen Erfahrung spricht er sich kurz und bündig dahin aus, dass durch die Einwirkung der Compression die Leitung zuerst in den motorischen, dann in den sensibeln Fasern aufhöre. Zwei Jahre nachher gelangte Zederbaum (9), als er dieselben Experimente an Fröschen und an Kaninchen vornahm, zu ganz entgegengesetzten Schlussfolgerungen; er erzielte durch Anwendung der Compression zuerst die Lähmung der sensibeln, sodann die der motorischen Fasern. Bei der Wiederherstellung der Function erscheint dieselbe zuerst in

den sensibeln Fasern. Spätere, von Efron (1) ausgeführte Untersuchungen bestätigen die Angaben Zederbaum's.

Worin der Grund liegt für den Unterschied in den Resultaten, ist nicht leicht zu ermitteln, da die Verschiedenheit der experimentellen Bedingungen, unter welchen die Autoren ihre Beobachtungen gemacht haben, keine sichere Vergleichung zulässt.

Bei der folgenden Reihe von Experimenten beschäftigte ich mich nur mit dem Studium der betreffenden Frage bei den Fröschen. Die Experimente wurden auf folgende Weise ausgeführt: Ich schnitt einem Frosche den Kopf ab und präparirte den Ischiadicus auf einer Seite, indem ich ihn mit dem Rückenmark in Verbindung liess; die Hinterpfote derselben Seite und die der gegenüberliegenden Seite wurden einfach von der Haut entblösst. Hierauf zog ich den mittleren Theil des Nerven durch die Schlinge des comprimirenden Fadens und brachte ein Paar Elektroden am Nerven selbst in einer Entfernung von 2 cm unterhalb des comprimirten Punktes an, sowie ein weiteres Paar Elektroden 2 cm oberhalb desselben.

Alsdann bestimmte ich die Minimalreize, die erforderlich waren, um von den Elektroden unterhalb des comprimirten Punktes eine Reflexwirkung zu erhalten (die sich an der Pfote der gegenüberliegenden Seite bemerkbar machte) und von den höher liegenden Elektroden eine Einwirkung auf die Pfote derselben Seite. Hierauf comprimirte ich und reizte dann abwechselnd und periodisch den Nerv durch die beiden Elektrodenpaare.

Ich entnehme meinem Protokoll die Beschreibung von zweien dieser Experimente (Tab. 8 u. 9).

Versuch 27. 30. Juni 1900. Tabelle 8.

Rana esculenta. Decapitirt und wie beschrieben präparirt. 1 Daniell. Druckstelle am mittleren Ischiadicusdrittel.

Reizintervall 30 Sec.	A Reizung des rechten Ischiadicus 2 cm unterhalb der Druckstelle. Es wird die Reizschwelle für die Reaction des linken Unterschenkels constatirt. (Wirkung auf die sensiblen Fasern.) Rollenabstand in mm	B Reizung des rechten Ischiadicus 2 cm oberhalb der Druckstelle. Es wird die Reizschwelle für die Reaction des rechten Unterschenkels constatirt. (Wirkung des Drucks auf die motorischen Fasern.) Rollenabstand in mm
9h 25′	120	165
	128	163
	Druck von 15 g	
	112	145
	75	115
	62	115

Reizintervall 30 Sec.	A Reizung des rechten Ischiadicus 2 cm unterhalb der Druckstelle. Es wird die Reizschwelle für die Reaction des linken Unterschenkels constatirt. (Wirkung auf die sensiblen Fasern.) Rollenabstand in mm	B Reizung des rechten Ischiadicus 2 cm oberhalb der Druckstelle. Es wird die Reizschwelle für die Reaction des rechten Unterschenkels constatirt. (Wirkung des Drucks auf die motorischen Fasern.) Rollenabstand in mm
9^h 25′	20	85
	keine Erregung	62
5 Minuten später	—	45
3 Minuten später	—	42
3 Minuten später	—	30
		keine Erregung

Versuch 33. 7. Juli 1900. Tabelle 9.

Rana temporaria. Versuchsanordnung wie bei Experiment 27.

A Reizung des linken Ischiadicus 2 cm unterhalb der Druckstelle. Es wird die Reizschwelle für die Reaction des linken Unterschenkels constatirt. (Wirkung des Drucks auf die sensiblen Fasern.) Rollenabstand in mm	B Reizung des linken Ischiadicus 2 cm oberhalb der Druckstelle. Es wird die Reizschwelle für die Reaction des linken Unterschenkels constatirt. (Wirkung des Drucks auf die motorischen Fasern.) Rollenabstand in mm
174	221
174	221
172	218
Druck von 25 g	
172	218
171	218
164	216
142	220
118	206
74	193
70	193
64	182
31	160
keine Erregung	160
	Aufhören des Druckes
—	160
—	165
—	172
—	170
—	168
	Druck von 30 g
—	168
—	112
—	72
—	40
	keine Erregung

Aus allen von mir durchgeführten Experimenten ergibt sich constant das Resultat, dass, in Uebereinstimmung mit den Beobachtungen Zederbaum's, durch die Einwirkung der Gewichte die Leitung

zuerst in den sensiblen Fasern aufhört und erst später auch in den motorischen Fasern unterbrochen wird. Erscheinungen von partieller Wiederherstellung der Function bemerkte ich nur in den motorischen Fasern; die von mir verwendeten Sommerfrösche eigneten sich aber wegen ihrer schnellen Erschöpfbarkeit nicht gut zu lange fortgesetzten Untersuchungen.

Bei meinen bisherigen Ausführungen habe ich mich auf eine einfache Mittheilung der Thatsachen beschränkt, die ich mit einigen wenigen theoretischen Betrachtungen begleitete.

Auch hält mich von der Versuchung, mich allzu weit in allgemeine Betrachtungen einzulassen, der Umstand zurück, dass eine Reihe von histologischen Untersuchungen über dieses Thema, die im Strassburger physiologischen Laboratorium ausgeführt werden, noch nicht ihren Abschluss erreicht hat; die ersten Ergebnisse derselben gedenke ich bald mittheilen zu können.

Wenn man nach Beendigung eines Experiments, bei dem man sich der Compression bedient hat, die im Nerven eingetretene Veränderung untersucht, so sieht man mit Erstaunen, wie sehr sich sein Durchmesser am comprimirten Punkte verringert hat; ein solcher Durchmesser beträgt oft nur ein Drittel oder ein Viertel des normalen. Ausserdem hat der Nerv an dem Punkte, wo der Faden angelegt wurde, seine Undurchsichtigkeit verloren und ist transparent geworden.

Die erste und einfachste Erklärung, die sich hier aufdrängt, wäre, dass eine solche Verminderung des Durchmessers in Folge einer Verdrängung der Flüssigkeit der Myelinscheide nach oben und unten von dem comprimirten Punkte erfolge. In diesem Falle müsste dann eine beträchtliche Annäherung der einzelnen Achsencylinder stattfinden, die mit ihren feinen Scheiden jene Nervenstrecke von verkleinertem Durchmesser ausmachen würden, die dem comprimirten Punkte entspricht.

Nachdem diese Bedingungen gegeben sind, müssen wir uns fragen, ob diese Veränderung der normalen Lage der einzelnen Fasern, d. h. diese Annäherung der Achsencylinder an einander die Bedingungen für die isolirte Leitung der Nervenfasern gestört haben könne. Die Hypothese kann auf den ersten Blick befremden, wenn man daran denkt, dass wir bis jetzt beim peripherischen Nervensystem durchaus kein Recht haben, an die Möglichkeit einer Leitung von Faser zu Faser des Nerven zu denken. Die bekannten Experi-

mente von Kühne schliessen eine solche Möglichkeit für den normalen Nerv absolut aus. Aber die ganz specielle Form der morphologischen Veränderung der Nervenfaser in unserem Falle, ferner die bekannte Thatsache, dass sich doch jedenfalls Vorgänge, welche sich innerhalb der einzelnen Nervenfasern abspielen, auch nach aussen hin übertragen, wie z. B. die elektrischen Veränderungen, die auf die Messapparate übergehen, rechtfertigen es, dass wir die, wenn auch nur entfernte Möglichkeit einer Uebertragung des Reizes von Faser zu Faser in Betracht ziehen.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend führte ich eine Reihe von Versuchen auf folgende Weise aus. Ich schnitt einem Frosche den Kopf ab und präparirte den Ischiadicus, liess ihn an seinem unteren Ende in Verbindung mit der von der Haut entblössten Pfote und durchschnitt oben die Aeste des Nervengeflechtes gerade am Punkte ihres Austritts aus der Wirbelsäule. Das Präparat spannte ich auf einer Metallplatte aus, die von der Unterlage isolirt war und mit einem der Drähte des Inductionsapparates in Verbindung stand, während der andere Draht desselben Apparates zur Erde abgeleitet war. Die Aeste des Nervengeflechts wurden so weit als möglich von einander getrennt. Von diesen Aesten versorgen nur zwei die Muskeln des Beines mit Nerven, und zwar gewöhnlich mit einer verschiedenen Vertheilung der Function. So stellt sich meistens heraus, dass der Gastrocnemius (wenigstens an seinem oberen Theile) und der Tibialis anterior ein jeder von einem der Aeste des Nervengeflechtes ihre Nerven erhalten. Ich reizte periodisch und abwechselnd unipolar vermittelst einer sehr feinen abgestumpften Spitze einen jeden der beiden Aeste; ich comprimirte den mittleren Theil des Ischiadicus, und indem ich mit der Reizung fortfuhr, beobachtete ich aufmerksam, auf welche Weise die beiden genannten Muskeln reagirten. Wenn man dies Experiment dann auch fortsetzt, bis sich der immer intensivere Reiz nicht mehr durch den comprimirten Punkt hindurch fortpflanzt, so bemerkt man, dass sich die Beziehung zwischen der Vertheilung der Aeste des Nervengeflechts und der Contraction der einzelnen Muskeln doch nicht ändert, d. h. der auf einen der Aeste ausgeübte Reiz ergibt immer die Contraction des Gastrocnemius und der auf den anderen ausgeübte diejenige des Tibialis anterior. Mit einem Worte, wie starke Gewichte man auch anwendet, und wie dünn auch die comprimirte Nervenstrecke wird, während die Achsencylinder immer mehr in Berührung mit einander gerathen, so hört

doch die isolirte Leitung der einzelnen Faserbündel des Nerven nicht auf. Dies constatirte ich jedes Mal bei allen Experimenten, die ich zu diesem Zwecke anstellte.

Noch interessanter wird dieses Resultat durch die histologische Untersuchung der Präparate, die der Compression ausgesetzt wurden. Von dieser Untersuchung kann ich nur sehr summarisch gehaltene Angaben anführen, die von Beobachtungen herrühren, welche an mit Osmiumsäure fixirten Nerven angestellt wurden. Aus ihnen erhellt, dass nach Maassgabe der Compression der Inhalt der Myelinscheide nach oben und nach unten getrieben wird; die schwarze Färbung der Osmiumsäure ist verschwunden und durch einen feinen gelblichen Ring um den Achsencylinder herum verdrängt. Letzterer hat merklich an Volumen abgenommen, was vermuthen lässt, dass auch sein Axoplasma an dem comprimirten Punkte verdrängt wird. Die dünner gewordenen Achsencylinder haben sich entsprechend der Compression der ganzen Faser einander genähert, berühren sich jedoch nirgends direct; es ist aber nicht ausgeschlossen, dass die histologische Behandlung der Präparate das Bindegewebe hat aufquellen lassen. Weitere Untersuchungen sollen auch mit anderen Methoden in Bezug auf die morphologischen Veränderungen angestellt werden.

Das Studium der anatomischen Beziehungen und Bedingungen der Leitung des Impulses im Nerven kann noch viel zur Beleuchtung des Gegenstandes unserer Untersuchung beitragen. Und gerade die augenblickliche Lücke in der Kenntniss jener Beziehungen und die Erwartung dessen, was neue experimentelle Studien bringen werden, sind es, welche mich, wie ich schon sagte, davon abhalten, Schlussfolgerungen allgemeiner Art zu ziehen, die man schon jetzt aus dem von mir gesammelten Beobachtungsmaterial leicht ableiten könnte.

Literatur.

1) Efron, Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiologie. Pflüger's Archiv Bd. 36 S. 467. 1885.
2) Eickhoff, Ueber die Erregbarkeit der motorischen Nerven an verschiedenen Stellen ihres Verlaufes. Pflüger's Arch. Bd. 77 S. 156. 1899.
3) Fontana, in Hermann's Handbuch Bd. 2 S. 369.

4) Grützner, Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiogie. Pflüger's Archiv Bd. 28 S. 130. 1882.
5) Heidenhain, Studien aus dem physiologischen Institut zu Breslau. Bd. 1 S. 1. Leipzig 1861.
6) Kühne, Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Heidelberg. Bd. 3 S. 21. 1879.
7) Lüderitz, Versuche über die Einwirkung des Druckes auf die motorischen und sensiblen Nerven. Zeitschr. f. klin. Medicin. Bd. 2 Heft 1. Berlin 1881.
8) Weir-Mitchell, Injuries of Nerves and their Consequences. Cit. in Zederbaum s. u. London und Philadelphia 1872.
9) Zederbaum, Nervendehnung und Nervendruck. Du Bois-Reymond's Archiv 1883. S. 161.